

## Durchführung und Auswertung

# Lungenfunktionstest mittels Spirometrie

**Prof. Dr. med. Pierre-Olivier Bridevaux<sup>a,b,c</sup>, Dr. med. Nicolas Petitpierre<sup>d</sup>, Prof. Dr. med. Konrad E. Bloch<sup>e</sup>, Prof. Dr. med. Jean-Marc Fellrath<sup>f,g</sup>, Prof. Dr. med. Jean-Paul Janssens<sup>b,c</sup>, Prof. Dr. med. Jörg D. Leuppi<sup>g</sup>, Dr. med. Lukas Kern<sup>h</sup>, Dr. med. Jacqueline Pichler Hefti<sup>i</sup>, Prof. Dr. med. Daiana Stolz<sup>j</sup>, Dr. med. Thomas Sigrist<sup>k</sup>**

<sup>a</sup> Service de pneumologie, Hôpital de Sion, Hôpital du Valais, Sion; <sup>b</sup> Service de pneumologie, Hôpitaux universitaires de Genève, Genève; <sup>c</sup> Faculté de Médecine, Université de Genève, Genève; <sup>d</sup> Pneumologie de Grancy, Lausanne; <sup>e</sup> Klinik für Pneumologie, Universitätsspital Zürich, Zürich; <sup>f</sup> Service de pneumologie, Hôpital neuchâtelois, La Chaux-de-Fonds; <sup>g</sup> Medizinische Universitätsklinik, Kantonsspital Baselland, Liestal; <sup>h</sup> Klinik für Pneumologie und Schlafmedizin, Kantonsspital St. Gallen, St. Gallen; <sup>i</sup> Universitätsklinik für Pneumologie, Inselspital, Universitätsspital, Bern; <sup>j</sup> Institut für Pneumologie, Universitätsspital Basel, Basel; <sup>k</sup> Pneumologie, Klinik Barmelweid



Zur Diagnosestellung und Kontrolle von Atemwegserkrankungen ist ein Lungenfunktionstest unerlässlich. Die vorliegende Empfehlung der Interessengruppe «SIG Functional Diagnostics & Sports Pneumology» der Schweizerischen Gesellschaft für Pneumologie richtet sich vorrangig an Nicht-Fachärzte.

## Einleitung

Die Spirometrie mit der Messung des Ansprechens auf kurzwirksame Bronchodilatoren ist ein wichtiges Diagnosetool bei der Untersuchung obstruktiver Syndrome und sollte bei Verdacht auf eine Atemwegserkrankung in jedem Fall zur Anwendung kommen. Die Anschaffung eines Spirometers ist einfach und die Durchführung einer Spirometrie leicht sowie mit geringen Kosten verbunden. In grossen epidemiologischen Studien konnten zuverlässige Referenzwerte für die erwachsene und pädiatrische Population ermittelt werden. Spirometrische Messparameter wie die Vitalkapazität (VC) oder die Einsekundenkapazität (FEV1) kommen routinemässig als Kriterien zur klinischen Beurteilung oder als Anpassungsvariablen in kontrollierten Studien zur Anwendung. Trotz ihrer Vorteile und der veröffentlichten Standards wird die Spirometrie nach wie vor zu wenig und in den Spitälern und Arztpraxen uneinheitlich eingesetzt.

Anhand einer Spirometrie mit Reversibilitätstest ist es in den meisten Fällen möglich, Asthma bronchiale von der chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) zu unterscheiden und den Schweregrad der Obstruktion bei COPD zu ermitteln. Ferner ist die Spirometrie bei der Betreuung chronischer Atemwegserkrankungen für Prognose und Therapie unerlässlich.

Das Ziel dieser Übersicht besteht darin, die technischen Prinzipien sowie die Bedingungen zur Durchführung und Auswertung einer Spirometrie in der täglichen klinischen Praxis anhand des aktuellen Kenntnisstands und der aktuellen Fachempfehlungen für Nicht-Lungenfachärzte zusammenzufassen [1, 2].

## Spirometer: technische Prinzipien und Messparameter

Mittels Spirometrie wird das Ein- und Ausatemvolumen bei bestimmten Atemmanövern gemessen. Die wichtigsten spirometrischen Messparameter sind die FEV1, die forcierte Vitalkapazität (FVC) sowie der FEV1/FVC-Quotient. Des Weiteren sind der mittlere Atemstrom, der Peak-Flow-Wert (PEF), das inspiratorische Reservevolumen (IRV) und die VC direkt messbar (Abb. 1 und 2).

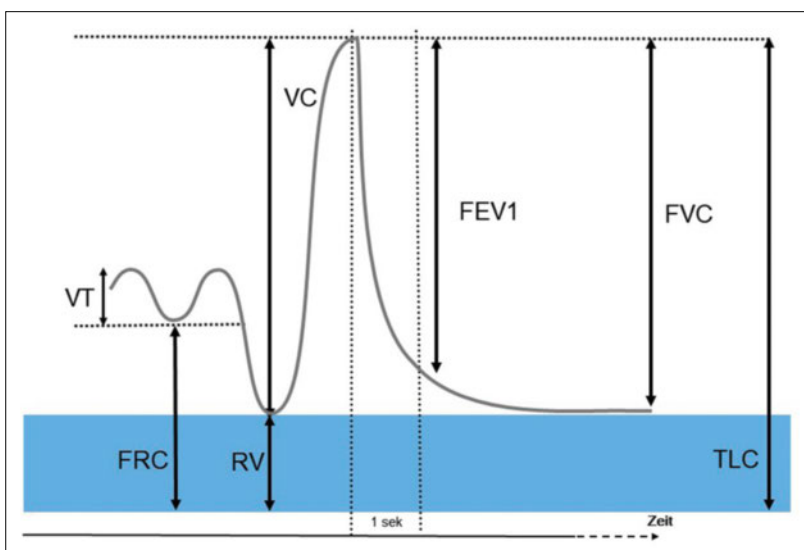
Auf dem Markt gibt es verschiedene Arten von Spirometern mit ihrer jeweiligen spezifischen technischen Ausstattung. Glockenspirometer wurden mittlerweile durch Geräte ersetzt, welche den Atemstrom mithilfe einer Turbine, Hitzdraht, Manometer oder Ultraschall messen. Letztere haben den Vorteil, dass sie nicht regelmässig geeicht werden müssen. Die technischen Unterschiede der jeweiligen Spirometer erklären die zum Teil erhebliche Variabilität (400 ml) der Testergebnisse bei ein und derselben Person [3]. Daher müssen die Ärzte in Arztpraxen sowie die Verantwortlichen in Lungenfunktionstestlaboren Strategien entwickeln, um die Testverfahren zu standardisieren, und sich vergewissern, ob die auf diese Weise erhaltenen Resultate reproduzierbar sind.

## Die Bedeutung der Referenzgleichungen

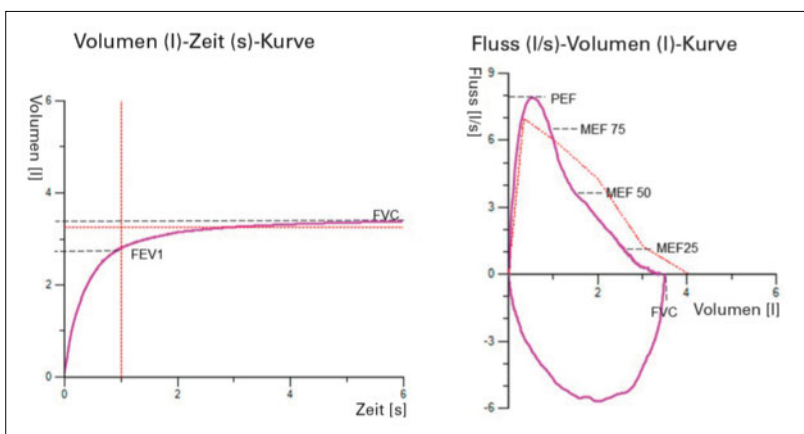
Das Lungenvolumen hängt ab von Alter, Grösse, Geschlecht und ethnischer Gruppenzugehörigkeit. In der klinischen Praxis müssen die bei den Probanden oder Patienten ermittelten Messparameter (FEV1/FVC,



Pierre-Olivier Bridevaux



**Abbildung 1:** Mittels Spirometrie und Bodyplethysmographie messbare Lungenvolumina. VT = Atemzugvolumen; VC = Vitalkapazität; FEV1 = Einsekundenkapazität; FVC = forcierte Vitalkapazität. Die Werte im blauen Bereich sind ausschliesslich mittels Bodyplethysmographie messbar: TLC = totale Lungenkapazität; FRC = funktionelle Residualkapazität; RV = Residualvolumen.



**Abbildung 2:** Volumen-Zeit- und Fluss-Volumen-Kurve.

FEV1 = Einsekundenkapazität; FVC = forcierte Vitalkapazität; MEF 75, 50, 25 = maximaler expiratorischer Fluss bei 25, 50 und 75% der FVC; MEF 25–75 = mittlerer expiratorischer Fluss bei 25–75% der FVC.

FVC, FEV1) mit Referenzwerten verglichen werden, die bei normalen, gesunden Nichtrauchern ermittelt wurden. Eine FEV1 von 1,5 l hat bei einem 30-jährigen, 180 cm grossen Mann (sehr starke ventilatorische Insuffizienz) nicht dieselbe Bedeutung wie bei einer 85-jährigen, 155 cm grossen Frau (noch normaler FEV1-Wert).

Die Referenzgleichungen der «Global Lung Function Initiative (GLI) 2012» wurden anhand von 74 000 gesunden Probanden erstellt. Die Schwächen der früheren Referenzgleichungen, die nicht mehr verwendet werden sollten, wurden damit behoben [1]. Von den Lungenfachgesellschaften («European Respiratory Society» [ERS], «American Thoracic Society» [ATS], Schweizerische Gesellschaft für Pneumologie [SGP]) wird aktuell

in der täglichen Praxis die Verwendung der neuen Referenzgleichungen empfohlen [4, 5]. Die GLI-2012-Referenzgleichungen berücksichtigen die Unterschiede verschiedener ethnischer Gruppen, sind an Personen von 3–95 Jahren angepasst, enthalten Solluntergrenzen («lower limit of normal» [LLN]) und ermöglichen eine standardisierte Auswertung der Spirometrie. Durch die Anwendung der GLI-2012-Referenzgleichungen können ferner Fehler der Vergangenheit, wie die Verwendung fester altersunabhängiger FEV1/FVC-Werte zur Diagnostik des obstruktiven Syndroms oder die Extrapolation von Sollwerten für Kinder und Personen über 65 Jahre, vermieden werden. Es wird empfohlen, in den Lungenfunktionsberichten für jeden Messparameter die verwendeten Referenzgleichungen anzugeben.

## Indikationen für einen Lungenfunktionstest

Lungenfunktionstests (LFT) sind ein zentraler Bestandteil bei der Untersuchung und Betreuung von Lungenkrankungen, der Beurteilung des Risikos vor einer Operation [6], vor der Verabreichung einer pneumotoxischen Chemotherapie sowie beim COPD-Screening von Risikopersonen.

Als Erstes wird eine Spirometrie mit Bronchodilatoren durchgeführt, anschliessend erfolgen, entsprechend des klinischen Hintergrunds, eine Messung des Lungenvolumens mittels Bodyplethysmographie sowie eine Messung der Kohlenmonoxid-Diffusionskapazität (DLCO) beziehungsweise ein Lungenbelastungstest [7, 8]. Bei einer Entsättigung während der klinischen Untersuchung ( $\text{SpO}_2 < 93\%$ ) wird eine arterielle Blutgasanalyse durchgeführt.

- Bei Symptomen oder Anzeichen wie Dyspnoe, Husten, Bronchorrhoe, verlängertem Expirium oder Giemen, pathologischen Laborwerten (Polyglobulie, Sauerstoffsättigung), einem auffälligen Thorax-Computertomogramm oder Standardröntgenbild ist ein Lungenfunktionstest indiziert. Auch systemische Erkrankungen wie rheumatoide Polyarthrit und entzündliche Darmerkrankungen gehen häufig mit einer Lungenbeteiligung einher, die dokumentiert werden muss.
- Vor einer Thorax-Operation oder einer potentiell pneumotoxischen Chemotherapie ist die Durchführung eines LFT ebenfalls erforderlich. Neben klassischen Medikamenten wie Bleomycin, das eine Lungenfibrose verursachen kann, haben auch moderne Krebsimmuntherapien ein hohes Pneumotoxizitätsrisiko. Mittels Spirometrie und DLCO können die Risiken und Komplikationen vor einem chirurgischen Eingriff beurteilt und Atemwegsbehandlungen

optimiert werden. Auch die frühzeitige Feststellung einer pulmonalen Toxizität bei einer Chemotherapie ist auf diese Weise möglich.

- COPD ist in der Allgemeinbevölkerung nach wie vor unterdiagnostiziert. Im Rahmen von Sensibilisierungskampagnen kann COPD bei Erwachsenen mittels Spirometrie zusammen mit einer kurzen Befragung zur Risikoexposition (Tabakkonsum und dauerhafte Staub-, Gas- oder Rauchexposition) sowie chronischen Atemwegssymptomen diagnostiziert werden.
- Bei der Betreuung chronischer Atemwegserkrankungen sind ebenfalls regelmässige LFT erforderlich, um das Ansprechen auf die Therapien beurteilen zu können. Bei Asthma bronchiale besteht das Therapieziel beispielsweise darin, einen unauffälligen Spirometriebefund zu erhalten, wobei das obstruktive Syndrom abklingen und sich der FEV1-Wert normalisieren sollte. Bei einer Lungenfibrose geht es hingegen darum, den Funktionsverlust in Bezug auf FVC und DLCO zu verlangsamen.

## Kontraindikationen

Die Durchführung von LFT ist sicher. Absolute Kontraindikationen sind Situationen, in denen ein erhöhter Thoraxdruck bei den forcierten Expirationsmanövern schädlich sein könnte. So stellen ein vor Kurzem aufgetretener Myokardinfarkt, eine instabile Angina pectoris, ein grosses Aortenaneurysma oder eine symptomatische akute Lungenembolie Kontraindikationen gegen eine Spirometrie mit forcierter Expiration dar. Bodyplethysmographie und die Bestimmung der DLCO sind hingegen auch in diesen Fällen möglich.

Es gibt zahlreiche Beschwerden, die sich bei der Durchführung eines LFT störend auswirken. Wenn durch die Atemmanöver Thorax-, Gesichts- oder Bauchschmerzen ausgelöst werden oder der Patient aufgrund kognitiver Störungen nicht ausreichend mitarbeitet, ist die Aussagekraft des LFT eingeschränkt [8].

## Vorbereitung des Patienten, Konfiguration des Spirometers und Durchführung der Atemmanöver

### Vorbereitung des Patienten

Die Patienten sind anzuweisen, vor der Durchführung der Tests auf starke körperliche Belastung (Anstrengung kann eine Bronchokonstriktion bewirken), schwere Mahlzeiten und Alkohol zu verzichten.

Wenn Asthma bronchiale diagnostiziert werden soll, ist es empfehlenswert, insofern es die klinischen Bedingungen erlauben, inhalative Kortikosteroide mindes-

tens zwei Wochen, LAMA («long-acting muscarinic antagonists») 48 Stunden, LABA («long-acting  $\beta$ 2-adrenergic receptor agonists») 24 Stunden sowie SABA («short-acting  $\beta$ 2-adrenergic receptor agonists») und SAMA («short-acting muscarinic antagonists») 12 Stunden vor der Spirometrie abzusetzen, um ein eventuelles reversibles obstruktives Syndrom nicht zu maskieren [9].

Wenn eine COPD festgestellt oder kontrolliert werden soll, ist das Absetzen der Bronchodilatoren in der täglichen Praxis weder realistisch noch notwendig [10].

Vor jedem Test werden das Geschlecht, die ethnische Gruppenzugehörigkeit, die Körpergrösse in Zentimetern und das bis auf den Tag genaue Alter in das Software-Programm des Spirometers eingegeben. Die Grösse hat einen erheblichen Einfluss auf die Sollwerte. Jeder zusätzliche Zentimeter ist mit einem um 2% erhöhten Lungenvolumen assoziiert. Um Fehler aufgrund von Grössenangaben, die der Patient selbst macht und bei denen er sich häufig zu gross einschätzt, zu vermeiden, ist die Messung der Körpergrösse mit einer geeichten Messlatte unerlässlich.

Indem den Patienten die Atemmanöver vorher demonstriert werden, verringert sich die Zahl der Versuche, um reproduzier- und auswertbare Messparameter zu erhalten. Die Spirometrie erfolgt im Sitzen mit geradem Rücken, wobei das Beugen des Nackens bei den Atemmanövern vermieden werden sollte. Es sind eine Nasenklammer und ein Einweg-Mundstück vorzubereiten.

### Konfiguration des Spirometers

Die meisten Spirometer müssen regelmässig entsprechend den Herstellerempfehlungen geeicht werden.

Zur Standardisierung des Spirometers sollten, wenn vorhanden, die GLI-2012-Referenzgleichungen verwendet werden. Ferner sollte es laut den Empfehlungen der ERS so programmiert werden, dass es die besten Messparameter zur Auswertung speichert (die beste VC, FVC, FEV1 sowie den besten PEF) [2]. Somit können die FEV1 und FVC für die klinische Auswertung und den Lungenfunktionsbericht von unterschiedlichen Atemmanövern stammen.

### Durchführung der Atemmanöver

Die einzelnen Spirometriephasen sind in Abbildung 1 dargestellt. Nach 4–5 freien Atemzügen atmet die getestete Person bis zum Residualvolumen (RV) aus und bis zur totalen Lungkapazität (TLC) wieder ein (Phase 1). Dann atmet sie kräftig und langsam aus, um die FEV1 und die FVC zu ermitteln (Phase 2). Die VC kann während der Einatmung in Phase 1, während des erneuten vollständigen Einatmens nach der forcierten Expiration

(Phase 3, nicht in der Abbildung enthalten) oder während der langsamen Ausatmung in einem separaten Atemmanöver nach Erreichen der TLC ermittelt werden. Zur Messung der FVC ist eine ausreichend lange Aus-

atemphase inklusive zwei Sekunden bei angehaltenem Atem erforderlich. Dabei ist darauf zu achten, dass keine Luft ausserhalb des Mundstücks entweicht.

### Reproduzierbarkeit der Messparameter

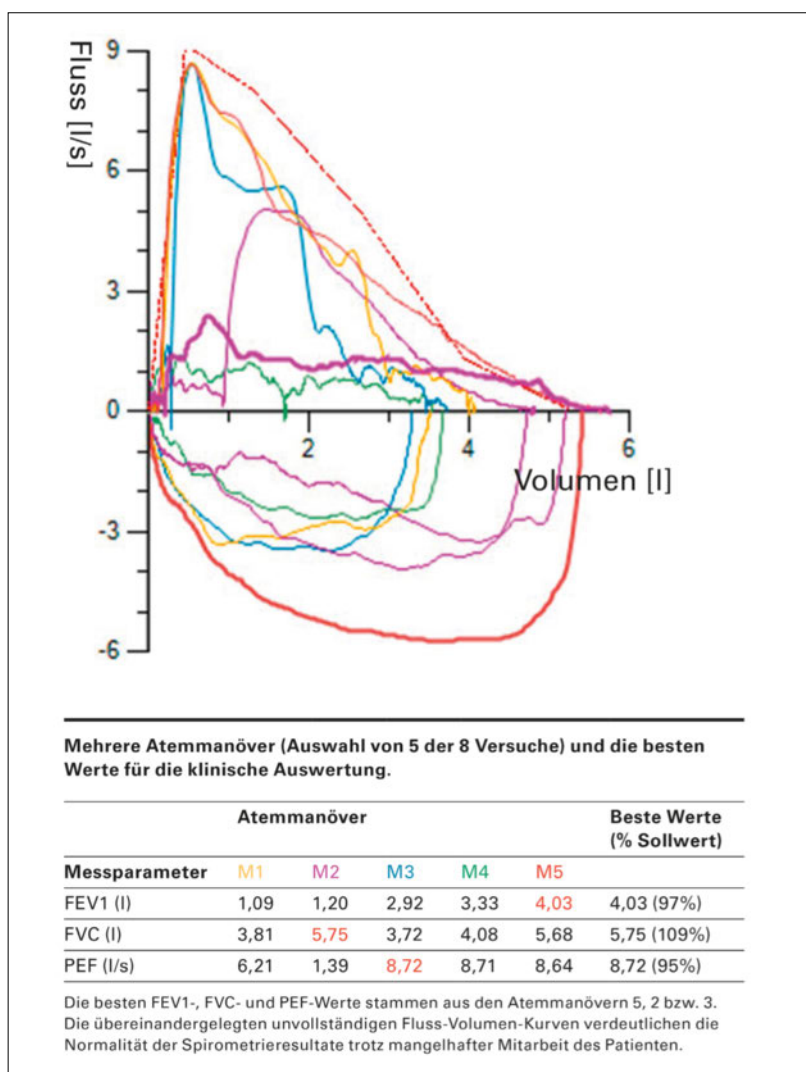
Für eine korrekte Auswertung ist die mindestens dreimalige Durchführung der Atemmanöver erforderlich. Die beiden besten FEV1- und FVC-Werte dürfen nicht mehr als 150 ml oder 5% voneinander abweichen, um als reproduzierbar zu gelten. Bei Abweichungen von über 150 ml (oder 5%) müssen die Atemmanöver bis zu achtmal wiederholt werden. Husten, Loslassen des Mundstücks sowie eine unterbrochene Fluss-Volumen-Kurve müssen nicht zum Abbruch des Atemmanövers führen. Wenn das Spirometer korrekt konfiguriert ist, wählt es automatisch die besten Werte jedes Atemmanövers aus (Tab. 1) (siehe Konfiguration des Spirometers) (Abb. 3).

**Tabelle 1:** Reproduzierbarkeit der spirometrischen Messparameter und beste Werte für die Auswertung.

Messparameter	Atemmanöver				Beste Werte für die Auswertung
	M1	M2	M3	M4	
FEV1 (l)	2,41	2,75	2,78	2,8	2,8
FVC (l)	3,6	2,91	3,61	3,21	3,61
PEF (l/s)	3,8	4,2	5,8	6	6

Es wurden vier Atemmanöver durchgeführt. Die Messparameter sind reproduzierbar, da die Unterschiede zwischen den beiden besten FEV1- (M3 & M4) und FVC-Werten (M1 & M3) unter 150 ml betragen. Die besten Werte, die aus unterschiedlichen Atemmanövern stammen (FVC M3 & FEV1 M4), werden zur Auswertung herangezogen.

FEV1: Einsekundenkapazität; FVC: forcierte Vitalkapazität; PEF: «peak expiratory flow».



**Abbildung 3:** Unvollständige Fluss-Volumen-Kurven und klinische Auswertbarkeit der Messparameter. FEV1: Einsekundenkapazität; FVC: forcierte Vitalkapazität; PEF: «peak expiratory flow»

### Auswertung der Messparameter

#### Obstruktives Syndrom: Definition

Das obstruktive Syndrom ist eine typische Eigenschaft von Asthma bronchiale und COPD, den häufigsten Atemwegserkrankungen. Es ist definiert als verringerter FEV1/(F)VC-Quotient. Neben diesem Konsenskriterium gibt es noch weitere zahlenmässige Kriterien zur Definition des obstruktiven Syndroms, deren genaue Festlegung viele Jahre gedauert hat. Dank der Modernisierung der Spirometrie-Software und der Verbreitung der Referenzgleichungen mit Referenzwerten und einem auf Geschlecht, Alter, Grösse und ethnische Gruppenzugehörigkeit abgestimmten LLN des FEV1/FVC-Quotienten ist es gelungen, eine wissenschaftlich fundierte Definition des obstruktiven Syndroms zu erstellen, die auf dem 5. Perzentil des Normalwerts als LLN beruht. Bei jeder ventilatorischen Insuffizienz wird der Schweregrad der Obstruktion anhand der prozentualen FEV1-Verringerung in Bezug zum Sollwert beurteilt.

Bei COPD gilt laut GOLD-Richtlinie («Global Initiative for Obstructive Lung Disease») ein FEV1/FVC-Quotient von <0,7 nach Bronchodilatation als willkürliches Kriterium für eine Obstruktion [11]. Aufgrund der scheinbaren Einfachheit dieser Definition und der Tatsache, dass zahlreiche veraltete Spirometer keine Referenzsollwerte bezüglich des FEV1/FVC-Quotients berücksichtigen, wurde dieses wissenschaftlich ungesicherte Kriterium beibehalten. Da der FEV1/FVC-Quotient jedoch mit steigendem Alter physiologischerweise abnimmt, haben ältere Menschen (insbesondere über 65 Jahren) ein erhöhtes Risiko, überdiagnostiziert und möglicherweise überbehandelt zu werden.



Seit 2005 empfehlen ATS und ERS daher die Verwendung der unteren Normgrenze oder des 5. Perzentils des Normalwerts des FEV1/(F)VC-Quotienten als untersten Sollwert (LLN), um das obstruktive Syndrom zu definieren [12, 13]. Bei der Verwendung des LLN als Obstruktionskriterium wird die physiologische Verringerung des FEV1/(F)VC-Quotienten mit steigendem Alter berücksichtigt und Überdiagnosen werden vermieden. In der Praxis vergleicht der Arzt den FEV1/(F)VC-Quotienten des getesteten Patienten mit dem Soll-LLN. Dieses Vorgehen ist anhand des Befundes eines 65-jährigen Nichtraucher beispielhaft dargestellt (Tab. 2).

Eine alleinige Wölbung der Fluss-Volumen-Kurve, die sich in einer isolierten Verringerung des mittleren Atemstroms (MEF 50, MEF 25–75) äussert, dürfte nicht ausreichen, um ein obstruktives Syndrom zu diagnostizieren. Denn bezüglich dieser Messparameter gibt es starke physiologische Unterschiede, die von der FVC abhängig sind. Daher wird der mittlere Atemstrom bei der klinischen Entscheidung nur marginal berücksichtigt [14].

Nachdem ein obstruktives Syndrom diagnostiziert wurde, bestimmt der Arzt anhand der FEV1 den Schweregrad der Obstruktion. Die in der Praxis am häufigsten angewendeten Klassifizierungen zur Gradierung des Schweregrads sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

### Restriktives Syndrom: Definition

Lungenfibrosen, Deformierungen des Brustkorbs, neuromuskuläre Erkrankungen, welche die Atemmuskulatur beeinträchtigen, und morbid Adipositas zählen zu den häufigsten Gründen für ein restriktives Syndrom. Das restriktive Syndrom ist definiert als erniedrigte totale Lungenkapazität, die ausschliesslich mittels Bodyplethysmographie zu bestimmen ist. Ein entsprechender Verdacht kann jedoch auch bei einer harmonischen Verringerung der dynamischen Atemvolumina (FVC und FEV1) unterhalb der unteren Normgrenze oder einem abnormal erhöhten FEV1/FVC-Quotienten (>110% des Sollwerts) bestehen. Nachdem ein restriktives Syndrom diagnostiziert wurde, wird der Schweregrad der ventilatorischen Insuffizienz gemäss den ERS/ATS-2005-Empfehlungen durch die Untersuchung der prozentualen FEV1-Verringerung in Bezug zum Sollwert bestimmt [12].

Es ist wichtig anzumerken, dass eine erniedrigte (F)VC auch häufig bei COPD auftritt. Es muss sich also nicht in jedem Fall um ein restriktives Syndrom handeln. Denn bei Gas Trapping mit erhöhtem RV/TLC-Quotienten bei der Bodyplethysmographie aufgrund eines Emphysems kommt es zu einer verringerten VC (erhöhtes RV bei erniedrigter VC). Um die Diagnose einer COPD zu bestätigen, die mit erniedrigter VC einhergeht, müssen ein pathologisch erhöhtes Residualvolumen (RV) und eine Diffusionsstörung nachgewiesen werden.

### Bronchodilatation

Asthma bronchiale und COPD sind zwei vollkommen verschiedene, klinisch zu unterscheidende Erkrankungen. In Tabelle 4 sind die physiologischen Parameter aufgeführt, anhand deren man zwischen Asthma bronchiale und COPD unterscheiden kann. Ein starkes Ansprechen auf Bronchodilatoren (>400 ml) oder eine vollständige Reversibilität der Obstruktion mit Normalisierung der spirometrischen Messparameter sind typisch für Asthma bronchiale. Bei COPD ist hingegen häufig nur ein Teilansprechen auf Bronchodilatoren zu beobachten. Uneindeutige Situationen lassen sich durch eine Messung des Lungenvolumens mittels Bodyplethysmographie sowie eine Messung DLCO korrekt einordnen. Nichtsdestotrotz kommen in der täglichen Praxis häufig Überlappungen zwischen Asthma und COPD vor. Bis zu 30% der persistierenden moderaten Asthmaerkrankungen entwickeln sich zu einer fixierten Obstruktion weiter und 15–20% der COPD-Erkrankungen entsprechen den Kriterien einer Mischform zwischen Asthma bronchiale und COPD («Asthma-COPD-Overlap-Syndrom» [ACOS]) [15, 16].

**Tabelle 2:** Beispiel einer normalen Spirometrie bei einem 65-jährigen, 178 cm grossen, kaukasischen, asymptomatischen Nichtraucher, der vor einer Thorax-Operation einem Lungenfunktionstest unterzogen wurde.

	Gemessene Werte	Sollwerte	LLN	% des Sollwerts
FEV1 (l)	2,85	3,41	2,52	84%
FVC (l)	4,38	4,46	3,35	98%
FEV1/FVC	0,65	0,77	0,64	>LLN

NB: Die «Global Lung Function Initiative» (GLI)-2012-Referenzgleichungen geben für den FEV1/FVC-Quotienten einen Sollwert von 0,77 und eine untere Normgrenze von 0,64 an. Der FEV1/FVC-Quotient der getesteten Person beträgt 0,65 und liegt somit noch im Normbereich. Somit kann kein obstruktives Syndrom diagnostiziert werden. Auswertung: normaler Spirometriebefund.

FEV1: Einsekundenkapazität; FVC: forcierte Vitalkapazität; LLN: «lower limit of normal», Solluntergrenze

**Tabelle 3:** Diagnosekriterien für eine Obstruktion (GOLD, ATS/ERS) und Gradierung des Schweregrads der Obstruktion (ATS 2004/GOLD).

FEV1/FVC nach Bronchodilatation* (GOLD)	FEV1/FVC (ATS/ERS-Empfehlungen)	FEV1 (% Sollwert)	Gradierung der Obstruktion (ATS 2004 / GOLD)
<0,7	<LLN	>80	Leicht
		50–79%	Mässig
		30–49%	Schwer
		<30%	Sehr schwer

\* 400 µg Salbutamol oder 80 µg Ipratropium. Die GOLD-Kriterien gelten ausschliesslich für die chronisch obstruktive Lungenerkrankung

FEV1: Einsekundenkapazität; FVC: forcierte Vitalkapazität; GOLD: «Global Initiative for Obstructive Lung Disease»; ATS: «American Thoracic Society»; ERS: «European Respiratory Society»

**Tabelle 4:** Physiologische Unterschiede und Ähnlichkeiten von Asthma bronchiale und chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD).

	Asthma bronchiale		COPD	
Spirometrie	Vor BD	Nach BD	Vor BD	Nach BD
FEV1	Erniedrigt	Sehr häufige, mitunter starke (>400 ml) Reversibilität	Erniedrigt	Gelegentliche, geringe Reversibilität
FVC	Normal	Gelegentliche Reversibilität	Erniedrigt	Gelegentliche bis häufige Reversibilität
FEV1/FVC	Erniedrigt	↑, bzw. normal	Erniedrigt	Erniedrigt
Bodyplethysmographie				
RV und FRC	Meist normal			Erhöht
Kohlenmonoxid-Diffusionskapazität				
DLCO	Normal			Erniedrigt
KCO	Normal			Erniedrigt

FEV1 = Einsekundenkapazität; FVC = forcierte Vitalkapazität; RV = Residualvolumen; FRC = funktionelle Residualkapazität; DLCO = Kohlenmonoxid-Diffusionskapazität; KCO (Krogh-Wert) = auf das ventilierte Alveolarvolumen korrigierte Diffusionskapazität; BD = Bronchodilatator.

Zur Beurteilung des Ansprechens auf Bronchodilatoren wird die Anwendung des folgenden Protokolls des ATS/ERS-Konsensuspapiers empfohlen [17]:

1. Standardspirometrie (mindestens 3 Messungen);
2. Verabreichung von 4 Stößen Salbutamol à 100 µg in Form eines Dosieraerosols (1 Stoss, gefolgt von tiefem Einatmen, 4-mal wiederholen) [18];
3. Spirometrie 15 min nach Verabreichung des Bronchodilatators (mindestens 3 Messungen).

Bezüglich der zusätzlichen Bronchodilatation mit Ipratropium können keine endgültigen Empfehlungen gegeben werden, da grossangelegte Studien zu diesem Thema fehlen. Bei COPD-Patienten wird in manchen Fällen eine Gesamtdosis von 80 µg Ipratropium empfohlen (4 × 20 µg, nach einem vergleichbaren Protokoll wie bei Salbutamol). Das Ansprechen auf Ipratropium kann 30–40 min später beurteilt werden [2, 19]. Auf der Website der Atemwegsliga ist eine Videodemonstration der Anwendung eines Dosieraerosols abrufbar [18].

#### Auswertung des Ansprechens auf Bronchodilatoren

Erwachsene sprechen auf Bronchodilatoren (BD) an, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- Zunahme der FEV1 um 200 ml und um 12% gegenüber dem Ausgangswert
- oder
- Zunahme der FVC um 200 ml und um 12% gegenüber dem Ausgangswert.

Vollständige Reversibilität ist bei einer Normalisierung der FEV1 und der FVC mit Abklingen des vor der Bronchodilatation bestehenden obstruktiven Syndroms gegeben. Ein derartiges Resultat deutet stark auf Asthma

bronchiale hin. Es ist wichtig, dies insbesondere in den Fällen zu erkennen, in welchen die Ausgangsvolumina bereits hoch sind und nur ein geringer Spielraum für eine zusätzliche Volumenerhöhung nach Bronchodilatation besteht.

Eine partielle Reversibilität liegt dann vor, wenn mindestens eines der Reversibilitätskriterien erfüllt ist, der FEV1/FVC-Quotient jedoch unter dem LLN bleibt und/oder sich die FEV1 oder FVC nicht normalisiert haben. Anhand einer partiellen Reversibilität allein können Asthma bronchiale und COPD jedoch weder bestätigt noch ausgeschlossen werden.

*Beispiel: Der Ausgangs-FEV1-Wert (prä BD) beträgt 2,2 Liter. Der FEV1-Wert nach BD (post BD) beträgt 2,3 Liter. Somit beträgt die Wirkung der Bronchodilatation +100 ml und +4,5%  $((2,3-2,2)/2,2 \cdot 100 = +4,5\%)$ . Demzufolge besteht in diesem Fall bezüglich der FEV1 keine Reversibilität.*

Je nach Situation können/müssen jedoch noch weitere Aspekte berücksichtigt werden:

- Die Normalisierung des FEV1/FVC-Quotienten darf nicht als alleiniges Kriterium angewendet werden. Denn bei einer paradoxen Verringerung der FVC nach Bronchodilatation erhöht sich der FEV1/FVC-Quotient.
- Bei Kindern, deren Lungenvolumen kleiner ist, darf nur das 12%-Kriterium angewendet werden.
- Bei COPD-Verdacht ist die Gabe eines Bronchodilatators für die Diagnosestellung unerlässlich [11], da die Diagnose erst nach Bronchodilatation gestellt werden kann. Spricht der Patient auf letztere sehr gut an, ist zusätzlich der Verdacht auf Asthma bronchiale zu prüfen.
- Dieser wird in der täglichen Praxis durch eine starke Zunahme der FEV1 um 400 ml und 12% bestätigt [20].

Korrespondenz:  
Prof. Dr. med.  
Pierre-Olivier Bridevaux  
Service de pneumologie  
Hôpital de Sion  
Hôpital du Valais  
CH-1950 Sion  
pierre-olivier.bridevaux[at]  
hopitalvs.ch

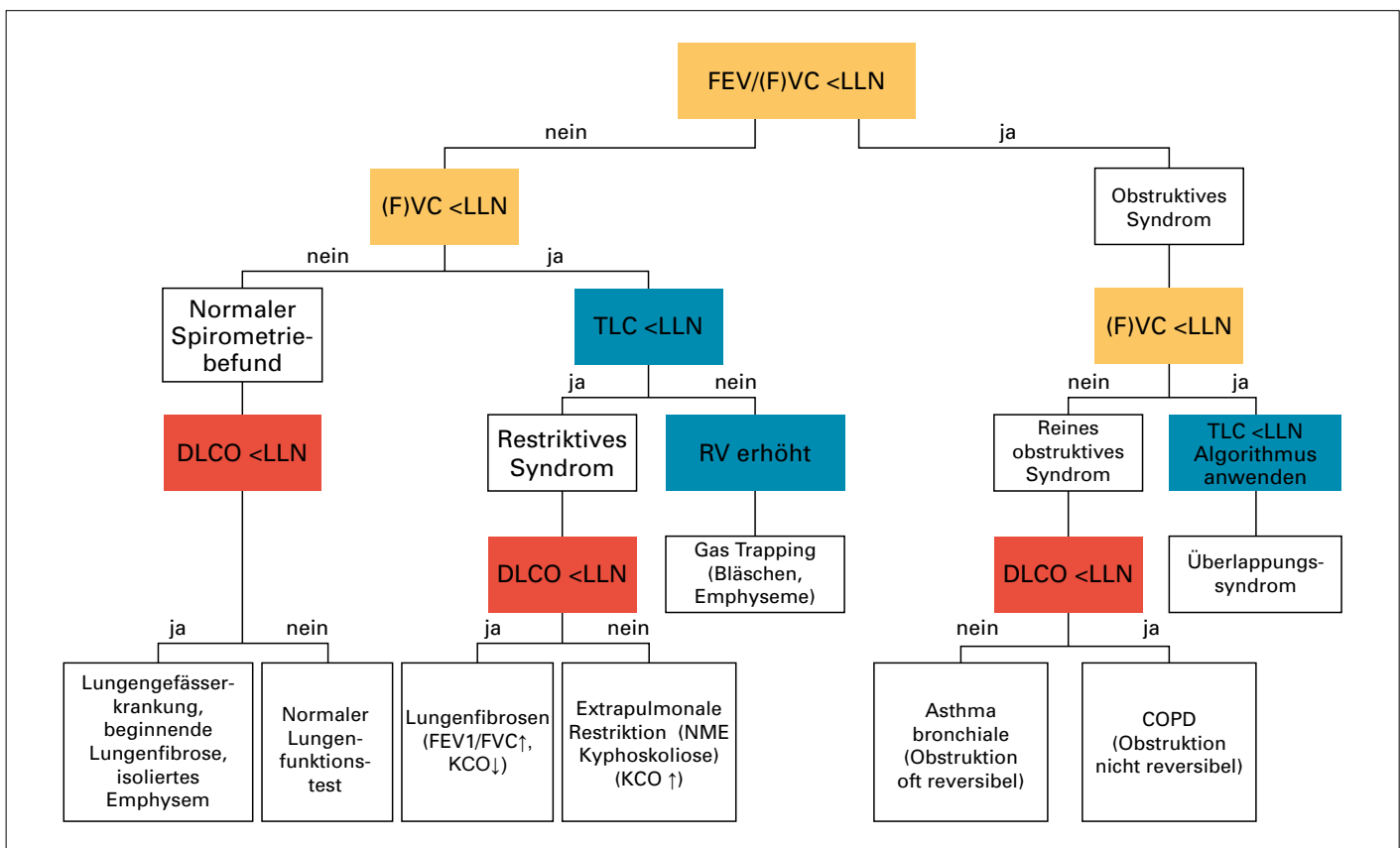
## Z-Scores oder Prozent des Sollwerts

Wir haben uns angewöhnt, Resultate von Lungenfunktionstests in Prozent des Sollwerts anzugeben, wobei ein prozentualer Anteil von über 80% des Sollwerts willkürlich als «normal» betrachtet wird. Dieses Vorgehen birgt bei alten Menschen respektive ungewöhnlich grossen oder kleinen Personen Probleme, da bei diesen die Spanne der Normwerte grösser ist als bei jungen oder normal grossen Patienten. Folglich kann eine FVC von unter 80% des Sollwerts bei einer 80-jährigen, 160 cm grossen Frau dennoch im Normbereich liegen. Die Z-Scores schaffen diesbezüglich Abhilfe. Sie gelten für alle Altersklassen, wodurch sie 95% (1,96 Z-Score) oder 90% der Bevölkerung (1,64 Z-Score) einschliessen. Der Z-Score gibt die Entfernung eines gemessenen Werts vom Sollwert in Form der Anzahl der Standardabweichungen an. So hat eine 80-jährige, 160 cm grosse, asymptomatische Nichtraucherin beispielsweise einen FVC-Sollwert von 2,45 Litern und einen LLN von 1,72 (dies entspricht dem 5. Perzentil des Sollmittelwerts, also einem Z-Score von 1,64). Wird bei

dieser eine FVC von 1,73 Litern ermittelt, erscheint das Resultat bei Berechnung des prozentualen Anteils des Sollwerts abnormal niedrig (71% des Sollwerts). Der Wert entspricht jedoch einem Z-Score von 1,63 des Sollmittelwerts und liegt somit noch im Normbereich. Nichtsdestotrotz werden die Z-Scores in der täglichen Praxis nur selten angewendet. In den meisten klinischen Studien wurden die respiratorischen Messwerte bis dato in Prozent des Sollwerts angegeben. Bis zur flächendeckenden Anwendung der Z-Scores werden wahrscheinlich noch viele Jahre vergehen. Ebenso wie beim prozentualen Anteil des Sollwerts können die Z-Scores die klinische Beurteilung nicht ersetzen und nicht als alleiniges Kriterium dienen, um zu bestimmen, ob eine Atemwegserkrankung vorliegt oder nicht.

## Algorithmus zur Auswertung des Lungenfunktionstests

Eine Spirometrie mit Bronchodilatation ist der erste Schritt eines Lungenfunktionstests. Sie dient zur Diagnosesicherung bei Asthma bronchiale und COPD, den



**Abbildung 4:** Vereinfachter Algorithmus zur Auswertung von Lungenfunktionstests. Mittels Spirometrie zu ermittelnde Messparameter (orange), Messung der Kohlenmonoxid-Diffusionskapazität (rot), Bodyplethysmographie (blau).

VC = Vitalkapazität; FVC = forcierte Vitalkapazität; FEV1 = Einsekundenkapazität; TLC = totale Lungenkapazität; FRC = funktionelle Residualkapazität; RV = Residualvolumen; DLCO = Kohlenmonoxid-Diffusionskapazität; KCO = auf das ventilierte Alveolarvolumen korrigierte Diffusionskapazität; NME = neuromuskuläre Erkrankung; LLN = untere Normgrenze.

---

## Das Wichtigste für die Praxis

- Die Spirometrie mit Bronchodilatation ist die Standarduntersuchung im Fachbereich Pneumologie und zur Diagnosestellung und Kontrolle von Atemwegserkrankungen unerlässlich.
- Bei der Diagnostik einer chronischen Atemwegserkrankung wird zusätzlich zur Spirometrie die Durchführung einer Messung der Kohlenmonoxid-Diffusionskapazität (DLCO) und einer Bodyplethysmographie in einem Lungenfunktionstestlabor empfohlen.
- Sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern sind die «Global Lung Initiative 2012»-Referenzgleichungen anzuwenden. Frühere Referenzgleichungen sollten nicht mehr genutzt werden.
- Das obstruktive Syndrom ist definiert als erniedrigter FEV1/FVC-Quotient unterhalb der unteren Normgrenze.

häufigsten Atemwegserkrankungen. Zur Diagnose- oder Befunderstellung bei anderen Atemwegserkrankungen sind eine Messung der DLCO sowie des statischen Lungenvolumens mittels Bodyplethysmographie erforderlich. Abbildung 4 zeigt einen vereinfachten Algorithmus zur Auswertung von Lungenfunktionstests.

### Disclosure statement

JDL deklariert Forschungsmittel von Boehringer Ingelheim, Mundipharma, GlaxoSmithKline und Novartis. JP deklariert persönliche Honorare von Boehringer Ingelheim sowie nichtfinanzielle Unterstützung von Actelion und MSD. Die anderen Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Verbindungen im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

### Literatur

Die vollständige Literaturliste finden Sie als Anhang des Online-Artikels unter [www.medicalforum.ch](http://www.medicalforum.ch).